PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-036538
(43)Date of publication of application : 07.02.1995

(51)Int.Cl. G05B 23/02
G02B 23/02
G06F 11/30

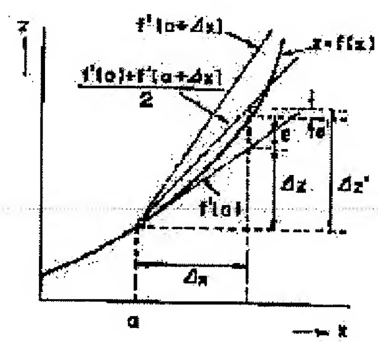
(21)Application number : 05-197625
(22)Date of filing : 16.07.1993

(71)Applicant : NIPPON METSUKUSU KK
(72)Inventor : SHIMODAIRA HISASHI

(54) FAULT DIAGNOSTIC METHOD FOR EQUIPMENT REPRESENTABLE ITS OPERATING STATE SHOWN IN CONTINUOUS VALUE

(57)Abstract:

PURPOSE: To estimate a faulty area in a short time by calculating the variance value of another variable by means of an approximation expression in regard of the increment of a variable acquired by differentiating a relational expression showing the steady state of an equipment and based on the variance value of a variable set at a measuring point.



CONSTITUTION: When the steady state of an equipment varies, the coefficients fx and fy are calculated by a relational expression showing the steady state of the equipment, that is, $z=f(x, y)$ in regard of variables x, y and z and also by an approximation expression $\Delta z - f_x\Delta x - f_y\Delta y = 0$ fx: $\Delta f/\Delta x$; Δx, Δy: definite variance value of x and y; Δz: approximate value of variance set when x and y vary by Δx and Δy). If these variance values are large, the variance value of the steady state of the variable set at a measuring point is substituted for those expressions based on the mean value of the unvaried and varied coefficients for calculation of the variance value of a variable set at another measuring point. This calculated variance value is compared with the variance value of the measured value of the relevant point so that a faulty area is identified. Furthermore the variable variance values of all measuring points related to the faulty area are substituted for the relational expression for estimation of the faulty area through an inverse operation.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) 公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平7－36538

(43)公開日　平成７年(1995)２月７日

(51)Int.Cl.[6]	識別記号	庁内整理番号	ＦＩ	技術表示箇所
Ｇ０５Ｂ　23/02	３０２　Ｖ	7618－3H		
Ｇ０２Ｂ　23/02				
Ｇ０６Ｆ　11/30	３０５　Ｃ	9290－5B		

審査請求　未請求　請求項の数１　ＦＤ　（全 ８ 頁）

(21)出願番号　特願平5－197625

(22)出願日　平成５年(1993)７月16日

(71)出願人　000153340
日本メックス株式会社
東京都港区西新橋１丁目22番10号

(72)発明者　下平　丕作士
東京都小金井市緑町４－13－27

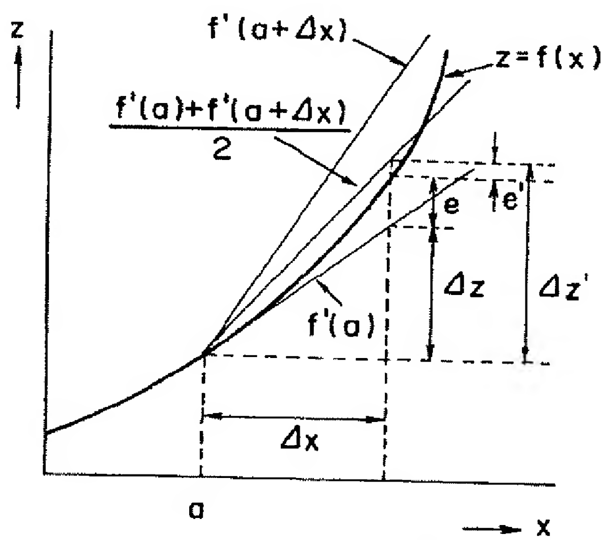
(74)代理人　弁理士　梅村　繁郎　（外１名）

(54)【発明の名称】　運転状態が連続量で表される機器の異常診断方法

(57)【要約】

【目的】　その運転状態を表す変数が連続量として表現される石油プラント、化学プラント、原子力プラント、建築空調設備等の機器について、定常状態を表す変数の関係式から得られる変数の増分について関係式と測定値を用いて、簡便にこれらの運転状態の異常を診断すること。

【構成】　運転状態が連続量で表される機器において、機器の状態が正常な定常状態から変化した場合に、正常な定常状態を表す関係式を微分して得られる変数の増分についての近似式においてその係数を定常状態の変数の値により計算し、変動量が大きい場合には、誤差を少なくするために変動の前後の係数の平均値を用いることとして、これらの式に測定点の変数の定常状態における値からの変動量を代入して別の測定点の変数の変動量を計算し、その点の測定値の変動量と比較することにより、機能に異常が生じている部分を同定し、さらに、当該部分に関連する全ての測定点の変数の変動量を当該関係式に代入し、異常個所の変数の変動量を逆算することにより、当該部分に含まれる異常個所を推定する。



関数の近似と平均係数法

【特許請求の範囲】

【請求項１】　運転状態が連続量で表される機器において、機器の状態が正常な定常状態から変化した場合に、正常な定常状態を表す関係式を微分して得られる変数の増分についての近似式においてその係数を定常状態の変数の値により計算し、変動量が大きい場合には、誤差を少なくするために変動の前後の係数の平均値を用いることとして、これらの式に測定点の変数の定常状態における値からの変動量を代入して別の測定点の変数の変動量を計算し、その点の測定値の変動量と比較することにより、機能に異常が生じている部分を同定し、さらに、当該部分に関連する全ての測定点の変数の変動量を当該関係式に代入し、異常個所の変数の変動量を逆算することにより、当該部分に含まれる異常個所を推定することを特徴とする、運転状態が連続量で表される機器の異常診断方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】本発明は、運転状態が流体の温度、圧力、流量、電気の電圧、電流等のような連続量で表される機器の異常診断方法、詳しくはその運転状態を表す変数が連続量として表現される石油プラント、化学プラント、原子力プラント、建築空調設備等の機器について、定常状態におけるこれらの連続量を表す変数の関係式から得られる変数の増分についての関係式と測定値を用いて、簡便にこれらの運転状態の異常を診断する方法に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】石油プラント、化学プラント、原子力プラント、建築空調設備等の運転状態が連続量で表される機器の異常診断の方法には、浅い知識に基づいた方法（ここでは従来方法１と称す）と深い知識に基いた方法（ここでは従来方法２と称す）とが従来より存在している。従来方法１は、異常の原因と症状を直接的に結びつけ、ルール（If［症状］、Then［原因］によって症状と原因を結びつけて表現する）として表現する手法であり、ルールベースのエキスパートシステムとして利用されている。従来方法２は、対象物の構造（構成要素とそれらの相互の関係）と機能（構成要素の入力と出力の関係及び構成要素の入出力と系全体の入出力の関係）を数式や記号により表現したモデルを用いる手法であり、この従来方法２による異常診断では、このようなモデルに基いて数値シミュレーションによって異常診断を行っている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】従来方法１による異常診断は簡便であるという長所はあるが、該当する知識がない場合にはなすすべがなかった。又、基礎となる原理を保持していないため、因果関係の説明が十分にできず、更に、ルールの数が膨大になり、その獲得とメンテナンスに多大な労力を要するなどの短所があった。一方、従来方法２は従来方法１に比してより強力な問題解決能力を有し、基礎原理によって裏づけられる為、対象物の挙動が説明でき、更に教育システムとして役立つという長所があるが、たいてい、非線形な関係式を扱うため、解を得るための処理が難しく、プログラムの作成も相当な知識経験を有し、処理時間が長いという問題点があった。本発明者は、従来方法２の上記の問題点を解消するため、機器の定常状態を表す変数の関係式を微分して得られる変数の増分についての線形の関係式と運転監視用の測定点における変数の変動量を用いて、数値シミュレーションによらないで、他の変数の変動量を精度よく計算する方法（増分推定法）を開発することに成功し、この方法に基づいて複雑な処理を要さず、短時間で異常個所を推定できる機器の異常診断方法をここに提供せんとするものである。

【０００４】

【課題を解決するための手段】この発明は、石油プラント、化学プラント、原子力プラント、建築空調設備等運転状態が連続量で表される機器において、機器の状態が正常な定常状態から変化した場合に、正常な定常状態を表す関係式を微分して得られる変数の増分についての近似式においてその係数を定常状態の変数の値により計算し、変動量が大きい場合には、誤差を少なくするために変動の前後の係数の平均値を用いることとして、これらの式に測定点の変数の定常状態における値からの変動量を代入して別の測定点の変数の変動量を計算し、その点の測定値の変動量と比較することにより、機能に異常が生じている部分を同定し、さらに、当該部分に関連する全ての測定点の変数の変動量を当該関係式に代入し、異常個所の変数の変動量を逆算することにより、当該部分に含まれる異常個所を推定できる様にすることにより、上記課題を解決せんとするものである。以下、本発明の異常診断方法を更に詳しく説明する。

【０００５】（ａ）増分推定法

本発明方法では、機器の状態が定常状態から変化したとき、次のようにして変数の変動量を計算する。機器の定常状態を表す関係式の例として、変数ｘ，ｙ，ｚについての次式をとりあげる。

$z=f(x, y)$　…　式（１）

上式から変数の変動について、次のような近似式が得られる。

$\Delta z-f_x \Delta x-f_y \Delta y=0$　…　式（２）

ここで、f_x は $\partial f/\partial x$ を表す。Δx，Δy はそれぞれ x，y の有限な変動量である。Δz は、x，y が Δx，Δy だけ変化したときの z の変動量の近似値である。ここで対象とする異常状態は、機器のある部分の機能に異常があるために正常時の定常状態から連続的に変化して生じた状態であり、当該機能異常に対応した定常状態にあるものとする。状態の時間的変化が緩やかな場

合には、このような定常状態にあるものとみなすことができる。

【０００６】機器が定常状態で運転されているとき、各変数の値は式（１）を満足している。ある定常状態におけるｘ，ｙ，ｚの値をそれぞれａ，ｂ，ｃとする。通常、定常状態における主要な変数の値は、機器の運転監視用の測定点の値から知ることができる。測定点以外の変数の値は、機器が正常な場合には、測定点の値から計算することができ、必要ならば実測によって知ることができる。

【０００７】機器の状態が正常時の定常状態から変化し、異常に対応した定常状態に達しているとき、正常な定常状態における変数の値からの変動量を次のようにして求める。まず、設計時の定数や正常時の定常状態の変数の値により、式（２）の f_x 等の係数の値を求める。次いで、このような式を用いて、変化後の状態における測定点の変数の変動量を代入して、計算値を他の式に伝播させることにより、他の変数の変動量を求める。たとえば、式（２）においてΔｘとΔｚが既知となれば、Δｙを計算する。

【０００８】変動量の値が大きい場合には誤差が大きくなるため、次のような改善策（平均係数法とよぶ）を講ずる。ある式から計算した変数の変動量が規定のしきい値より大きい場合には、その式の係数の値を、その係数に含まれる変数について、もとの変数の値により計算した係数と変動量を加えた変数の値により計算した係数の平均値で置き換える。例えば、変数ｘ，ｙを含む係数については、ｘ＝ａ，ｙ＝ｂとして計算した係数とｘ＝ａ＋Δｘ，ｙ＝ｂ＋Δｙとして計算した係数の平均値で置き換える。このように係数を修正した式（２）等を用いて、その変数の変動量の値を計算し直す。

【０００９】（ｂ）増分推定法による機器の異常診断
機器の状態が、（ａ）で述べたような異常に対応した定常状態にあるとき、機器が正常に機能している部分については、正常な機能を仮定した式（２）等から計算した変数の変動量は、誤差の範囲内で、この部分における変数の実際の変動量に一致する。ある部分に異常がある場合には、正常な機能を仮定した式（２）等から計算した当該部分における変数の変動量は、機器が実際に呈する変数の変動量とは異なった値となり、それは、変数の測定点において検出される。

【００１０】増分推定法を用いて異常部分を同定するために、測定点の変数の変動量または既知の変数の変動量の値を代入することにより、別に定めた測定点またはチェック点の変数の変動量を計算できるように関係式をグループ化する。チェック点とは、別ルートから計算した値の比較を行う点である。機器は通常、単一の機能を持ったユニット（たとえば、冷凍設備では、圧縮機、凝縮機等）を連結して構成されるため、これらのユニット毎に機能を表す関係式をグループ化する。ここでは、同一グループ内に複数の異常原因は、存在しないものとする。

【００１１】異常個所の推定は、次の２段階の処理により行う。
（イ）異常のある部分に関連する式のグループの同定
各グループについて、グループ内の機能が正常であることを仮定して、グループ内の測定点または既知の変数の変動量を代入して、計算値を他の式に伝播させることにより、別に定めた測定点の値を計算し、実際の測定値の変動量と比較する。または、同様にしてチェック点の値を求めて、既に正常であると確認された式のグループから計算した値と比較する。両者の値が一致しない場合には、当該グループ内の式に対応する部分の機能に異常があることになる。

【００１２】（ロ）異常個所の推定
異常があると同定されたグループ内の式について、異常があると思われる機能を仮定し、全ての測定点または既知の変数の変動量の値（上記（イ）で算出の対象となった測定点およびチェック点を含む）を代入して、計算値を他の式に伝播させることにより、その機能に対応する変数の変動量を逆算する。求めた値が異常な状態を説明できるようなものである場合には、当該機能に異常が生じていることが裏付けられたことになり、求めた値が異常な状態におけるその変数の変動量である。このような異常の原因が見つかるまで、この処理を繰り返す。

【００１３】機器の本来の機能にないような異常（たとえば、タンクからの液漏れなど）に対応するためには、（ロ）の階段でこれについての変数を式に含ませる必要がある。たとえば、式（２）において、ある異常が起きた場合、ｋΔｕ（ｕはその異常を表す変数、ｋは定数）なる変化が生ずる場合、次式により、Δｘ，Δｙ，Δｚから Δｕを逆算する。

$$\Delta z - f_x\,\Delta x - f_y\,\Delta y + k\,\Delta u = 0 \quad \cdots \quad 式（３）$$

これにより、たとえば、タンクに液漏れが生じた場合、流入量と流出量の変動量の差として、液漏れ量が計算できる。

【００１４】
【実施例】以下、本発明の手法を大型冷蔵庫用の冷凍設備に適応した場合について説明する。冷凍設備は、冷蔵庫、圧縮機、凝縮器、蒸発器、膨張弁からなるものとする。以下、主として凝縮器の異常診断について述べる。定常状態における変数の関係式を表１に、これから導かれる変数の増分についての関係式を表２に示す。

【表１】

表１　凝縮器の状態を表す変数の関係式　　【表２】

$$Q_c = cW(t_{w2} - t_{w1}) \qquad (1.1)$$

$$t_{wm} = \frac{1}{2}(t_{w1} + t_{w2}) \qquad (1.2)$$

$$Q_c = K_c F_c (t_2 - t_{wm}) \qquad (1.3)$$

$$\frac{1}{K_c} = \frac{1}{\alpha_r} + \frac{L_{oc}}{\lambda_o} + f_w + \frac{1}{\alpha_w} \qquad (1.4)$$

$$p_2 = f_p(t_2) \qquad (1.5)$$

表２　凝縮器の状態を表す変数の増分についての関係式

$$\Delta Q_c - c(t_{w2} - t_{w1})\Delta W - cW(\Delta t_{w2} - \Delta t_{w1}) = 0 \qquad (2.1)$$

$$\Delta t_{wm} - \frac{1}{2}(\Delta t_{w1} + \Delta t_{w2}) = 0 \qquad (2.2)$$

$$\Delta Q_c - F_c(t_2 - t_{wm})\Delta K_c - K_c F_c(\Delta t_2 - \Delta t_{wm}) = 0 \qquad (2.3)$$

$$\Delta K_c + K_c^2 \Delta f_w + \frac{K_c^2}{\lambda_{oc}}\Delta L_{oc} = 0 \qquad (2.4)$$

$$\Delta p_2 - f_p'(t_2)\Delta t_2 = 0 \qquad (2.5)$$

【００１５】上記表１、表２において

$p1$	冷媒の蒸発圧力
$t1$	冷媒の蒸発温度
$p2$	冷媒の凝縮圧力
$t2$	冷媒の凝縮温度
Q_C	凝縮器の凝縮負荷
c	凝縮器の冷却水の比熱
W	凝縮器の冷却水量
t_{w1}	凝縮器の冷却水の入り口温度
t_{w2}	凝縮器の冷却水の出口温度
t_{wm}	凝縮器の冷却水の平均温度
K_C	凝縮器の冷却管の熱通過率
F_C	凝縮器の冷却管の面積
α_r	冷媒凝縮面における熱伝達率
λ_0	油膜の熱伝達率
L_{OC}	油膜の厚さ
f_W	水あかによる汚れ係数
α_W	冷却水に接する面における熱伝達率
t_r	冷蔵庫の室温
Θ	外気の温度
f_p	飽和圧力－飽和温度関数

【００１６】各構成要素の異常を推定するための、増分関係式のグループ化は上記の機器毎に行うものとする。そして、凝縮器についての上記（イ）の異常診断方法は下記の手順により行う。

【数１】

測定値：Δt_{w1}, Δt_{w2}, ΔW, Δp_2　仮定：$\Delta K_c = 0$, $\Delta f_w = 0$, $\Delta L_{oc} = 0$

$$\left.\begin{array}{l}[\text{式}(2.1) \rightarrow \Delta Q_c] \\ [\text{式}(2.2) \rightarrow \Delta t_{wm}]\end{array}\right\rangle [\text{式}(2.3) \rightarrow \Delta t_2] \rightarrow [\text{式}(2.5) \rightarrow \Delta p_2] \overset{\text{比較}}{\Leftrightarrow} \text{測定値}\,\Delta p_2$$

凝縮器は正常に機能しており、ΔK_C、Δf_W、ΔL_{OC}、がゼロであると仮定して、測定値Δt_{w1}、Δt_{w2}、ΔWを用いて、式（２．１）、（２．２、）（２．３）、（２．５）から$\Delta p2$を算出し、測定値と比較する。蒸発器（冷蔵庫）、圧縮機についても同様である。下記表３は正常な定常状態における測定点の変数

の値である。

【表３】

表３　正常時の測定点の変数の値と異常時の変動量

記号	正常時の変数の値	異常時の変動量	単位
p_1	1.94	0.0761	kgf/cm²abs
p_2	11.9	1.06	kgf/cm²abs
t_{w1}	20	0	℃
t_{w2}	24.8	0	℃
W	16600	0	l/h
t_r	-10	0.665	℃
θ	20	0	℃

ここで測定点の変数の値が表３に示す値だけ変動した場合の異常個所の推定を行う。この状態は、凝縮圧力が約１割高いという異常な状態である。これは、安全弁が作動する圧力（冷凍保安規則関係基準では、設定圧力の１１５％と定められている）には至らないが、これに準ずる状態である。なお、この例では外気温度等の外的条件は変化しないものとしているが、これらが変化する場合にも発明方法を適用できる。表２の式の係数の値は、設計時の機器の定数、表３の正常時の測定点の変数の価から求められる。

【００１７】前記の手順に従って凝縮機について計算すると、凝縮圧力Δp_2＝０になり、測定値Δp_2＝１．０６ｋｇｆ／ｃｍ^2 ａｂｓと一致しないため、凝縮器に異常があるものと同定される。そこで、その原因は凝縮器の熱伝達の異常であるものと仮定し、Δp_2＝１．０６ｋｇｆ／ｃｍ^2 ａｂｓとして、式（２．１）からΔQ_cを、式（２．２）からΔt_{wm}を、式（２．５）からΔt_2を求め、これらの値を式（２．３）に代入して、ΔK_cを逆算すると、ΔK_c＝－３４２ｋｃａｌ／ｍ^2 ｈ℃（３９．３％減）が得られる。変動量がしきい値より大きいため、平均係数法により式（２．３）におけるｔ$_2$ とＫ$_c$ を含む第２項と第３項の係数を修正して計算をやり直すと、ΔK_c＝－２３０ｋｃａｌ／ｍ^2 ｈ℃（２６．５％減）が得られる。ここでは、定常状態における変数の値に対する変動量の比が１０％以上の場合に平均係数法を用いることとした。Ｋ$_c$ の減少は通常、油膜や水あか等の冷却管の汚れの増加によって起こる。仮に油膜の増加のみによるものとし、平均係数法を用いて計算すると、式（２．４）からΔL_{oc}＝０．０３９５ｍｍが得られ、これは実際に生じうる値である。蒸発器と圧縮機について、同様な手順に従って異常のチェックを行なうと、計算値と測定値はそれぞれほぼ一致し、これらは正常であることが分かる。ΔK_c＝－２３０ｋｃａｌ／ｍ^2 ｈ℃として計算した主な変数の変動量は下記表４のようになる。

【表４】

表４　変数の正常時の値と異常時の変動量の計算値

記号	正常時の変数の値	異常時の変動量	単位
Q_c	79500	0	kcal/h
t_2	30	3	℃
K_c	870	-230	kcal/m²h℃
L_{oc}	0.05	0.0395	㎜
t_1	-20	0.887	℃

【００１８】以上の推論の結果、異常の原因は、凝縮器の冷却管の油膜等の汚れの増大による熱通過率の減少であると推定される。これにより、冷却管の出口温度はほとんど変わりないが、凝縮圧力（凝縮温度）が異常に高くなったのであるという説明ができる。（表３、４参照）。このような因果関係の説明は、冷凍機の保守マニュアル等に記述されている異常とその原因についての説明と一致する。凝縮器についての他の異常原因では変数

の測定値の変動量を説明できないことから、異常の原因は上記のものに絞り込まれる。式（1．3）により計算したK_Cの変動量の厳密な値は、－245kcal／m^2 h℃である。平均係数法を用いないで計算したK_Cの変数量のもとの変数の値に対する相対誤差は、11．1％であるのに対し、平均係数法を用いて計算した変動量の相対誤差は1．7％である。この結果から、平均係数法により誤差を小さくすることができることが分かる。

【0019】増分推定法の理論的根拠は、次の通りである。システムの挙動を表すシステム方程式は、入力変数（操作量u、外乱w）、状態変数x、出力変数yによって記述される。これをそれぞれ次のような列ベクトルで表す。

【数2】

$$u=[u_1 \cdots u_k]^T,\ w=[w_1 \cdots w_L]^T$$
$$x=[x_1 \cdots x_m]^T,\ y=[y_1 \cdots y_n]^T \qquad (A1.1)$$

外乱wには、本来の機能にないような異常を表す変数（たとえば、タンクの液漏れによる液体の流出量等）を含んでいるものと考える。システム方程式は、入力変数と状態変数の関係を記述する状態方程式と、出力変数が状態変数と入力変数のどのような関数になるかを表す出力方程式とからなっている。集中定数システムの場合には、一般にこれらの方程式を次の形に書くことができる。

【数3】

$$\frac{dx}{dt}=f(x,u,w) \qquad (A1.2)$$
$$y=g(x,u,w) \qquad (A1.3)$$

ここで、$f=[f_1 \cdots f_m]^T$, $g=[g_1 \cdots g_n]^T$ である。

入力u（t）、w（t）がそれぞれ一定値u_S、w_Sに保たれ、システムが定常状態にあるとき、

【数4】

$$\frac{dx(t)}{dt}=0 \qquad (A1.4)$$

であるから、x，yはそれぞれ一定値x_S，y_Sとなり、次式を満足する。

$f(x_S, u_S, w_S)=0$　　（A1．5）

$y_S=g(x_S, u_S, w_S)$　　（A1．6）

【0020】この次点では、外乱wにおける異常を表す変数の値はゼロであり、この定常状態にはなんの影響も及ばさない。システムに異常が生じ、変数が定常値からそれぞれΔu、Δw、Δx、Δyだけ変化したとき、Taylor展開により、

【数5】

$$\frac{dx}{dt}=\frac{d\Delta x}{dt}=f(x_S+\Delta x, u_S+\Delta u, w_S+\Delta w)$$
$$=f(x_S, u_S, w_S)+f_x(x_S, u_S, w_S)\Delta x+$$
$$f_u(x_S, u_S, w_S)\Delta u+f_w(x_S, u_S, w_S)\Delta w+\cdots \qquad (A1.7)$$

$$y_S+\Delta y=g(x_S+\Delta x, u_S+\Delta u, w_S+\Delta w)$$
$$=g(x_S, u_S, w_S)+g_X(x_S, u_S, w_S)\Delta x+$$
$$g_U(x_S, u_S, w_S)\Delta u+g_W(x_S, u_S, w_S)$$
$$\Delta w+\cdots \qquad (A1.8)$$

【0021】ここで、f_Xは∂f／∂xを表す。ベクトルf，gのベクトルx，u，wに関する偏導関数はヤコビアン行列である。‖Δx‖，‖Δu‖，‖Δw‖は小さいものとして、Δx，Δu，Δwに関して2次以上の項を無視する。異常に対応した定常状態に達しているものとし、式（A1．4），（A1．5），（A1．6），を用いると、

$$f_X(x_S, u_S, w_S)\Delta x+f_U(x_S, u_S, w_S)\Delta u+$$
$$f_W(x_S, u_S, w_S)\Delta w=0 \qquad (A1.9)$$
$$\Delta y=g_X(x_S, u_S, w_S)\Delta x+g_U(x_S, u_S, w_S)\Delta u+$$
$$g_W(x_S, u_S, w_S)\Delta w \qquad (A1.10)$$

ここで扱うシステムの異常は、システムの構造を変化させないようなもの（たとえば、熱交換機の管のよごれによる熱通過率の減少、タンクからの液体の漏れ等）に限定する。ここで、このような異常を考慮せず、正常な機

能を仮定して組み立てた式（Ａ１．９），（Ａ１．１０）を考える。正常に機能している部分については、機器の変数の実際の変動量は、正常な機能を仮定して組み立てた式（Ａ１．９），（Ａ１．１０）を満足する。正常に機能していない部分については、正常な機能を仮定して組み立てた式（Ａ１．９），（Ａ１．１０）から計算した変数の変動量は、実際の変動量と一致しない。この場合、実際の変動量が本来の式（Ａ１．９），（Ａ１．１０）を満足するという条件から、測定値を用いて、その異常に対応した変数（熱通過率など）の変動量を逆算することができる。又、本来の機能にないような異常（タンクからの液漏れなど）を表す変数の項を追加することにより、異常が生じている個所の変動量を逆算することができる。なお、表１、表２の式はこのような異常を表す項を追加していない式（Ａ１．９），（Ａ１．１０）に相当する。

【００２２】平均係数法の理論的根拠は、次の通りである。簡単のために、機器の状態を表す変数についての関係式及び増分についての関係式を、次のようにｘについてのｚの関数で表す（図１参照）

ｚ＝ｆ（ｘ）　（Ａ２．１）

Δｚ＝ｆ’（ａ）Δｘ　（Ａ２．２）

式（Ａ２．１）のＴａｙｌｏｒ展開により、次式が得られる。

【数６】

$$f(a+\Delta x)=f(a)+\Delta x f'(a)+\frac{(\Delta x)^2}{2}f''(a)+\frac{(\Delta x)^3}{6}f'''(a)+\cdots \qquad (A2.3)$$

上式から、式（Ａ２．２）は、式（Ａ２．１）を上式の第２項までとって近似していることに相当することが分かる。そのおよその誤差は、式（Ａ２．３）の第３項であるものとすれば、次式で表される。

【数７】

$$e \fallingdotseq \frac{(\Delta x)^2}{2}f''(a) \qquad (A2.4)$$

【００２３】平均係数法による誤差は、次式で表される。

【数８】

$$e'=f(a+\Delta x)-f(a)-\frac{1}{2}\{f'(a)+f'(a+\Delta x)\}\Delta x \qquad (A2.5)$$

ｆ’（ａ＋Δｘ）は、Ｔａｙｌｏｒ展開により次式で表される。

【数９】

$$f'(a+\Delta x)=f'(a)+\Delta x f''(a)+\frac{(\Delta x)^2}{2}f'''(a)+\cdots \qquad (A2.6)$$

式（Ａ２．３）と（Ａ２．６）を式（Ａ２．５）に代入し、４次以上の微分係数を含む項を省略すれば、次式が得られる。

【数１０】

$$e' \fallingdotseq -\frac{(\Delta x)^3}{2}f'''(a) \qquad (A2.7)$$

およその相対誤差を見積るために、式（Ａ２．１）をａの近傍で、ｘについての３次の多項式で近似して考える。ｘが大きい範囲では３次の項のみを考えればよいから、もとの関数値に対するｅとｅ’のおよその相対誤差ＥとＥ’は、それぞれ次式のようになる。

【数１１】

$$E \fallingdotseq 3\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^2 \qquad (A2.8)$$

$$E' \fallingdotseq -\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^3 \qquad (A2.9)$$

式（Ａ２．８）と（Ａ２．９）から、平均係数法を用いない場合には、誤差はもとの値に対する変動量の比（１より小さい）の２乗のオーダーであるのに対し、平均係数法を用いる場合には、３乗のオーダーになることが分かる。以上の説明により、平均係数法により誤差が小さくなる理由が分かる。上記の例におけるK_C の計算の場合には、Ｅ’＝－０．００９３であり、式（Ａ２．９）は誤差の比較的よい近似値を与えている。

【００２４】

【発明の効果】本発明における異常診断方法の最大の特徴は、非線形で複雑な機器の状態を表す関係式を直接用いないで、変数の増分についての線形の近似的な関係式を用いて、測定値により変化後の機器の状態を推定し、診断できるということであり、扱う式が線形であることにより、次のような利点を有する。

【００２５】１）　機器の状態を表す関係式そのものを用いてシミュレーション等を行うとすれば、扱う式の多くが非線形であるため、弛緩法等による反復計算や様々なテクニックを用いなければならず、プログラムの作成が難しく多大な計算時間がかかるが、増分推定法では扱う式が線形であるから容易に解を求めることができ、計算時間が短い。

【００２６】２）　問題によっては、変数同士の循環的な依存性のために、局所的な計算値の伝播では解が得られないことがあるが、このような場合にも、扱う式が線形であれば、未知数を表す記号そのもの伝播させる方法や、連立１次方程式を解くことにより、容易に解を求めることができる。

【００２７】３）　計算値の伝播において、機器の状態を表す式を直接用いるとすれば、能率よく計算するには、求めようとする変数について解いた式については、ｘ＝ｇ（ｙ，ｚ），ｙ＝ｈ（ｚ，ｘ）をそれぞれ用意しなければならないが、本発明の増分推定法では、前記式（２）のみを用いてプログラミング手法により、どの変数について解くことも可能であり、これにより、計算値の伝播の計算が簡単になり、システムの作成が極めて容易になるとともに、システムの規模が小さくなる。

【００２８】４）　増分推定法で用いる式（２）は近似式であるため、変動量が大きい場合には誤差を考慮しなければならないが、しかし平均係数法により誤差を小さくすることができるため、変動量が定常値の３０％程度でも数%の誤差で変動量を推定できる。

【００２９】５）　従来方法１と比較した場合、システムの機能を表す数式に基づいて様々な異常について対応でき、システムの機能に基づいた因果関係により異常個所を推定し、現象を説明できると共に、外的条件の変化を考慮した診断ができるなどの利点がある。

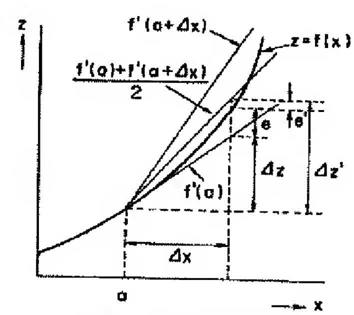
【００３０】６）　従来方法２と比較した場合、上記１）から３）の点で極めて有利である。

【００３１】

【図面の簡単な説明】

【図１】機器の状態を表す変数についての関係式、および増分についての関係式と平均係数法の意味を、ｘについてのｚの関数で表したグラフである。

【図１】



関数の近似と平均係数法